

# Document made available under the Patent Cooperation Treaty (PCT)

International application number: PCT/JP05/005220

International filing date: 23 March 2005 (23.03.2005)

Document type: Certified copy of priority document

Document details: Country/Office: JP  
Number: 2004-091685  
Filing date: 26 March 2004 (26.03.2004)

Date of receipt at the International Bureau: 12 May 2005 (12.05.2005)

Remark: Priority document submitted or transmitted to the International Bureau in compliance with Rule 17.1(a) or (b)



World Intellectual Property Organization (WIPO) - Geneva, Switzerland  
Organisation Mondiale de la Propriété Intellectuelle (OMPI) - Genève, Suisse

日 本 国 特 許 庁  
JAPAN PATENT OFFICE

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office.

出 願 年 月 日  
Date of Application: 2 0 0 4 年 3 月 2 6 日

出 願 番 号  
Application Number: 特 願 2 0 0 4 - 0 9 1 6 8 5

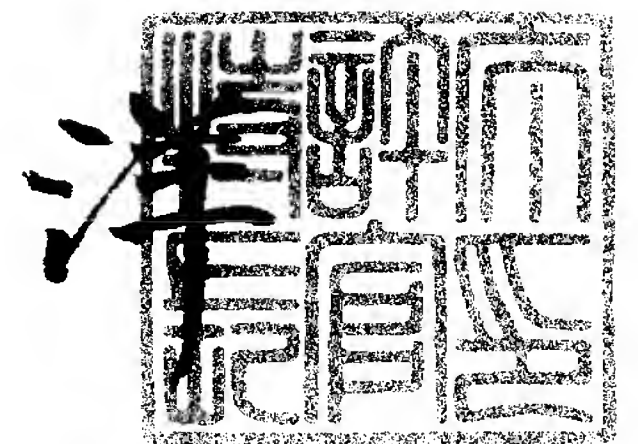
パリ条約による外国への出願  
に用いる優先権の主張の基礎  
となる出願の国コードと出願  
番号  
J P 2 0 0 4 - 0 9 1 6 8 5  
The country code and number  
of your priority application,  
to be used for filing abroad  
under the Paris Convention, is

出 願 人  
Applicant(s): 学 校 法 人 同 志 社

2 0 0 5 年 4 月 2 0 日

特 許 庁 長 官  
Commissioner,  
Japan Patent Office

小 川



【書類名】	特許願
【整理番号】	P04006
【提出日】	平成16年 3月26日
【あて先】	特許庁長官殿
【国際特許分類】	F25B 9/00
【発明者】	
【住所又は居所】	京都府乙訓郡大山崎町大山崎藤井畑3-6-1
【氏名】	坂本 眞一
【発明者】	
【住所又は居所】	京都府京田辺市多々羅都谷1番3号内
【氏名】	渡辺 好章
【特許出願人】	
【識別番号】	503027931
【氏名又は名称】	学校法人同志社
【代理人】	
【識別番号】	100111349
【弁理士】	
【氏名又は名称】	久留 徹
【手数料の表示】	
【予納台帳番号】	163637
【納付金額】	21,000円
【提出物件の目録】	
【物件名】	特許請求の範囲 1
【物件名】	明細書 1
【物件名】	図面 1
【物件名】	要約書 1

【書類名】 特許請求の範囲

【請求項 1】

ループ管の内部に、第一高温側熱交換器と第一低温側熱交換器に挟まれた第一のスタックと、第二高温側熱交換器と第二低温側熱交換器に挟まれた第二のスタックとを具備してなり、前記第一高温側熱交換器を加熱することによって自励による定在波及び進行波を発生させ、この定在波及び進行波によって前記第二低温側熱交換器を冷却し、又は／及び、前記第一低温側熱交換器を冷却することによって自励による定在波及び進行波を発生させ、この定在波及び進行波によって前記第二高温側熱交換器を加熱する熱音響装置であって、

前記ループ管を、地面に対して起立する複数の直線管部と、この直線管部よりも短く構成された連結管部とを設けて構成し、前記第一のスタックを、当該複数の直線管部のうち最も長い直線管部に設けるようにしたことを特徴とする熱音響装置。

【請求項 2】

前記直線管部と連結管部の長さをそれぞれ  $L_a$ 、 $L_b$  とした場合、 $1 : 0.01 \leq L_a : L_b < 1 : 1$

の範囲内に設定されるものである請求項 1 に記載の熱音響装置。

【請求項 3】

前記第一高温側熱交換器を加熱することによって自励による定在波及び進行波を発生させ、この定在波及び進行波によって前記第二低温側熱交換器を冷却する請求項 1 に記載の熱音響装置であって、前記第一のスタックを前記直線管部の中心よりも下方に設けた熱音響装置。

【請求項 4】

前記第一低温側熱交換器を冷却することによって自励による定在波及び進行波を発生させ、この定在波及び進行波によって前記第二高温側熱交換器を加熱する請求項 1 に記載の熱音響装置であって、前記第一のスタックを前記直線管部の中心よりも上方に設けた熱音響装置。

【請求項 5】

直線管部の一端と連結管部の一端とを連結したときのそれぞれの中心軸の交点を回路の始点とし、回路全長を 1.00 とするとき、第一のスタックの中心が回路全長の  $0.28 \pm 0.05$  の位置となるようにした請求項 1 に記載の熱音響装置。

【請求項 6】

回路全長を 1.00 とするとき、回路に沿った作動流体の圧力変動が、第一のスタックの近傍に第一のピークがあり、更に回路全長の約  $1/2$  進んだ位置に第二のピークが存在する場合に、前記第二のスタックの中心が前記第二のピークを過ぎた位置となるように第二のスタックを設けた請求項 1 に記載の熱音響装置。

【請求項 7】

前記ループ管の外周部もしくは内部に、定在波及び進行波を発生させるための音波発生装置を設けた請求項 1 に記載の熱音響装置。

【請求項 8】

前記第一のスタック、又は／及び、第二のスタックが、順次外側へ向かって内径を大きくした導通路を有するものである請求項 1 に記載の熱音響装置。

【請求項 9】

前記第一のスタック、又は／及び、第二のスタックが、順次外側へ向かって内径を小さくした導通路を有するものである請求項 1 に記載の熱音響装置。

【請求項 10】

前記第一のスタック、又は／及び、第二のスタックが、蛇行した導通路を有するものである請求項 1 に記載の熱音響装置。

【請求項 11】

前記第一のスタック、又は／及び、第二のスタックが、順次外側へ向かって流路長を短くした導通路を有するものである請求項 1 に記載の熱音響装置。

【請求項 1 2】

前記第一のスタック、又は／及び、第二のスタックの材質が、セラミクス、焼結金属、金網、金属製不織布の少なくとも 1 種からなるものであり、その  $\omega\tau$  ( $\omega$ ：作動流体の角周波数、 $\tau$ ：温度緩和時間) が 0.2 ～ 20 の範囲となるように構成された請求項 1 に記載の熱音響装置。

【請求項 1 3】

請求項 1 から 1 2 のいずれかに記載の熱音響装置を複数設け、一の熱音響装置における第二低温側熱交換器とこれに隣接する熱音響装置の第一低温側熱交換器を連結し、もしくは、一の熱音響装置における第二高温側熱交換器とこれに隣接する熱音響装置の第一高温側熱交換器を連結してなる熱音響システム。

【書類名】 明細書

【発明の名称】 熱音響装置及び熱音響システム

【技術分野】

【0001】

本発明は、熱音響効果を利用して対象物を冷却し、もしくは加熱しうる熱音響装置及びその熱音響装置を用いたシステムに関するものである。

【背景技術】

【0002】

音響効果を利用した熱交換装置の従来技術に関しては下記の特許文献1や非特許文献1などに記載されるものが存在する。

【0003】

まず、特許文献1に記載される装置は、熱音響効果を利用した冷却装置に関するものであり、作動流体を封入したループ管の内部に、高温側熱交換器及び低温側熱交換器に挟まれた第一のスタックと、高温側熱交換器及び低温側熱交換器に挟まれた蓄冷器と、を設けて構成され、第一のスタック側の高温側熱交換器を加熱することによって自励の音波を発生させ、この音波に基づく定在波及び進行波によって蓄冷器側の低温側熱交換器を冷却させるようにしたものである。

【0004】

また、非特許文献1にも同様に、熱音響効果を利用した冷却装置の実験的検討が開示されている。この実験に用いられる冷却装置も、金属によって構成された断面略矩形状のループ管と、ヒーター（高温側熱交換器）及び低温側熱交換器とに挟まれた第一のスタックと、この第一のスタックに対向する位置に設けられた第二のスタックとを設けて構成される。そして、第一のスタック側に設けられたヒーター（高温側熱交換器）を加熱するとともに、低温側熱交換器に水道水を循環させることによって第一のスタック内に温度勾配を発生させ、この温度勾配と逆方向に自励による音波を発生させる。そして、その音エネルギーをループ管を介して蓄冷器側に移送させ、エネルギー保存の法則により、第二のスタック側でその音エネルギーと逆方向に熱エネルギーを移送させて、第二のスタックの他端側の温度計近傍を冷却させるようにしたものである。この文献によれば、所定の条件のもと、温度計が設けられる部分で約16℃の温度低下が確認されている。

【特許文献1】 特開2000—88378号公報

【非特許文献1】 坂本眞一、村上和宏、渡辺好章 著「熱音響効果を用いた音響冷却現象の実験的検討」 社団法人 電子情報通信学会 信学技報 TECHNICAL REPORT OF IEICE, US2002-118(2003-02)

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0005】

ところで、このような熱音響効果を利用した装置において、加熱から定在波及び進行波の発生までの時間を短縮する必要があり、また、定在波及び進行波が発生した後においても熱交換の効率を向上させる必要がある。そして、このように定在波及び進行波を迅速に発生させる場合においては、できる限り迅速にスタック内に温度勾配を形成し、また、できる限り迅速に発生した音波の波面を安定させることなどが必要となる。

【0006】

しかるに、上記特許文献1では、音波の発生源となる第一のスタックを地面に対して水平な直線管部に設けるようにしているため、第一のスタックの高温側熱交換器に入力された熱がこの直線管部内で左右方向に広がってしまい、この熱が第一のスタック内に入り込んでスタック内に大きな温度勾配を形成することができない。このため、自励の音波の発生までに長い時間を要することとなり、冷却効率を良くすることができないという問題があった。また、定在波及び進行波を迅速に発生させるためには、第一のスタックで発生された音波の波面をできる限り迅速に安定させることが必要であるが、第一のスタックとループ管の角部までの距離が短いと、安定する前の波面がループ管の角部で反射してしまい



、そこで波面が乱れて自励の音波の発生までに長い時間を要することとなるという問題があった。

#### 【0007】

そこで、本発明は上記課題を解決すべく、ループ管を用いた熱音響装置において、迅速に定在波及び進行波を発生させて、迅速かつ効率良く熱交換を行いうるような熱音響装置を提供することを目的とする。

#### 【課題を解決するための手段】

#### 【0008】

本発明は上記課題を解決するために、ループ管の内部に、第一高温側熱交換器と第一低温側熱交換器に挟まれた第一のスタックと、第二高温側熱交換器と第二低温側熱交換器に挟まれた第二のスタックとを具備してなり、前記第一高温側熱交換器を加熱することによって自励による定在波及び進行波を発生させ、この定在波及び進行波によって前記第二低温側熱交換器を冷却し、又は／及び、前記第一低温側熱交換器を冷却することによって自励による定在波及び進行波を発生させ、この定在波及び進行波によって前記第二高温側熱交換器を加熱する熱音響装置であって、前記ループ管を、地面に対して起立する複数の直線管部と、この直線管部よりも短く構成された連結管部とを設けて構成し、前記第一のスタックを、当該複数の直線管部のうち最も長い直線管部に設けるようにする。

#### 【0009】

このように構成すれば、第一のスタックで発生した音波の波面を最も長く設定された直線管部内で安定させることができ、迅速に定在波及び進行波を発生させることができるようになる。また、地面に対して起立する直線管部に第一のスタックを設けるようにしたので、その第一のスタック側で発生した上昇気流や下降気流を利用して音波の発生までの時間を短縮化することができるようになる。更に、定在波及び進行波が発生した後においても、熱交換の効率を向上させることができるようになる。

#### 【0010】

また、このようなループ管の直線管部と連結管部のそれぞれの長さを $L_a$ 、 $L_b$ とした場合、 $1:0.01 \leq L_a:L_b < 1:1$ となるようにそれぞれの長さを設定する。

#### 【0011】

このように構成すれば、上述と同様に直線管部が相対的に長くなるため、音波の波面を安定させることができるようになる。そして、好ましくは、可能な限り直線管部を長くするのが好ましく、 $L_a:L_b \leq 1:0.5$ のように設定すると、より発生した音波の波面を安定させることができるようになる。

#### 【0012】

更に、このような装置において、第一高温側熱交換器を加熱し、第二低温側熱交換器を冷却するような場合、第一のスタックを直線管部の中心よりも下方に設けるようにする。

#### 【0013】

このように構成すれば、第一高温側熱交換器に加えられる熱による上昇気流の発生空間を上側に大きく確保することができ、この上昇気流を利用することによって迅速に定在波及び進行波を発生させることができるようになる。

#### 【0014】

加えて、第一低温側熱交換器を冷却し、第二高温側熱交換器を加熱するような場合、第一のスタックを直線管部の中心よりも上方に設けるようにする。

#### 【0015】

このように構成すれば、第一低温側熱交換器に加えられる冷たい熱（以下「冷熱」と称する）による下降気流の発生空間を下側に大きく確保することができ、この下降気流を利用することによって迅速に定在波及び進行波を発生させることができるようになる。

#### 【0016】

また、直線管部の一端と連結管部の一端とを連結したときのそれぞれの中心軸の交点を回路の始点とし、回路全長を1.00とするとき、第一のスタックの中心が回路全長の $0.28 \pm 0.05$ の位置となるように設定する。

#### 【 0 0 1 7 】

このように構成すれば、第一のスタックにおける第一高温側熱交換器と第一低温側熱交換器のそれぞれの温度が適切であると、より迅速に自励による音波の発生を生じることができる。

#### 【 0 0 1 8 】

また、回路全長を  $1.00$  とするとき、回路に沿った作動流体の圧力変動が、第一のスタックの近傍に第一のピークがあり、更に回路全長の約  $1/2$  進んだ位置に第二のピークが存在する場合に、前記第二のスタックの中心が前記第二のピークを過ぎた位置となるように第二のスタックを設ける。

#### 【 0 0 1 9 】

このように構成すれば、第二のスタックでの冷却効率や加熱効率を高めることができるようになる。

#### 【 0 0 2 0 】

また、ループ管の外周部もしくは内部に、定在波及び進行波を発生させるための音波発生装置を設けるようにする。

#### 【 0 0 2 1 】

このように構成すれば、自励による音波だけでなく音波発生装置からの強制振動によって、より迅速に定在波及び進行波を発生させることができるようになる。

#### 【 0 0 2 2 】

また、第一のスタック、又は／及び、第二のスタックとして、順次外側へ向かって内径を大きくした導通路を有するものを用いる。

#### 【 0 0 2 3 】

このようなものを用いれば、ループ管内部における境界層近傍での導通路の内径を大きくすることができるため、この部分でのエネルギー交換を効率よく行うことができるようになる。

#### 【 0 0 2 4 】

また、第一のスタック、又は／及び、第二のスタックとして、順次外側へ向かって内径を小さくした導通路を有するものを用いる。

#### 【 0 0 2 5 】

このようなものを用いれば、ループ管内部における中心部分での導通路の内径を大きくすることができるため、この中心部分でのエネルギー交換を効率よく行うことができるようになる。

#### 【 0 0 2 6 】

また、第一のスタック、又は／及び、第二のスタックとして、蛇行した導通路を有するものを用いるようにする。

#### 【 0 0 2 7 】

このようなものを用いれば、作動流体とスタックとの表面積を大きく確保することができるため、作動流体との熱交換を助長させてより高い熱の出力を行うことができるようになる。

#### 【 0 0 2 8 】

また、第一のスタック、又は／及び、第二のスタックとして、順次外側へ向かって流路長を短くした導通路を有するものを用いるようにする。

#### 【 0 0 2 9 】

このようなものを用いれば、ループ管の境界層に近い部分の導通路の流路長が短くなるため、速度勾配を均一にすることができ、これにより熱交換器を均一に加熱若しくは冷却することができるようになる。

#### 【 0 0 3 0 】

第一のスタック、又は／及び、第二のスタックの材質が、セラミクス、焼結金属、金網、金属製不織布の少なくとも1種からなるものであり、その  $\omega\tau$  ( $\omega$  : 作動流体の角周波数、 $\tau$  : 温度緩和時間) が  $0.2 \sim 20$  の範囲となるように構成された請求項1に記載の



熱音響装置。

【0031】

このように構成すれば、より迅速かつ効率良く自励による音波を発生させることができるようになる。

【0032】

また、このような熱音響装置を複数設け、一の熱音響装置における第二低温側熱交換器とこれに隣接する熱音響装置の第一低温側熱交換器を連結し、もしくは、一の熱音響装置における第二高温側熱交換器とこれに隣接する熱音響装置の第一高温側熱交換器を連結する。

【0033】

このように構成すれば、順次隣接する熱音響装置ごとに第一のスタック内の温度勾配が大きくなるため、末端側の熱音響装置でより高熱や冷熱を出力することができるようになる。

【発明の効果】

【0034】

本発明の熱音響装置は、ループ管の内部に、第一高温側熱交換器と第一低温側熱交換器に挟まれた第一のスタックと、第二高温側熱交換器と第二低温側熱交換器に挟まれた第二のスタックとを具備してなり、前記第一高温側熱交換器を加熱することによって自励による定在波及び進行波を発生させ、この定在波及び進行波によって前記第二低温側熱交換器を冷却し、又は／及び、前記第一低温側熱交換器を冷却することによって自励による定在波及び進行波を発生させ、この定在波及び進行波によって前記第二高温側熱交換器を加熱するものであって、前記ループ管を、地面に対して起立する複数の直線管部と、この直線管部よりも短く構成された連結管部とを設けて構成し、前記第一のスタックを、当該複数の直線管部のうち最も長い直線管部に設けるようにしたので、第一のスタックで発生した自励の音波の波面を長い直線管部で安定させることができ、迅速に定在波及び進行波を発生させることができるようになる。また、起立する直線管部に第一のスタックを設けるようにしたので、その第一のスタック側で発生した上昇気流や下降気流を利用して音波の発生までの時間を短縮化することができ、更に、音波発生後においても熱交換の効率を向上することができるようになる。

【発明を実施するための最良の形態】

【0035】

以下、本発明に係る熱音響装置1の第一の実施の形態について図面を参照して説明する。

【0036】

この実施の形態における熱音響装置1は、図1に示すように、全体として略長方形状に構成されたループ管2の内部に、第一高温側熱交換器4及び第一低温側熱交換器5に挟まれた第一のスタック3aと、第二高温側熱交換器6及び第二低温側熱交換器7に挟まれた第二のスタック3bとを具備してなるもので、第一のスタック3a側の第一高温側熱交換器4を加熱させることによって自励による定在波及び進行波を発生させ、この定在波及び進行波を第二のスタック3b側へ伝搬させることによって第二のスタック3b側に設けられた第二低温側熱交換器7を冷却させるようにしたものである。

【0037】

そして、この実施の形態では、第一高温側熱交換器4の加熱から定在波及び進行波の発生までの時間を短縮するために、鉛直方向（重力方向）に沿って設けられる一对の直線管部2aと、これらの直線管部2aよりも短く構成された連結管部2bとを設け、一方の直線管部2aの下方に第一高温側熱交換器4と第一低温側熱交換器5とで挟まれた第一のスタック3aを設けるようにしている。

【0038】

定在波及び進行波を発生させるためには、第一のスタック3aから発生した音波の波面をできる限り迅速に安定させなければならないが、第一のスタック3aが設けられている

直線管部 2 a の長さが短いと、その連結管部 2 b の両端に設けられた角部 2 0 b で音波が反射してしまい、位相が反転するなどして波面が乱れてしまう。このため、本実施の形態では、発生した音波の波面をできる限り迅速に安定させるために、ループ管 2 のうち最も長く構成された直線管部 2 a に第一のスタック 3 a を設けるようにしている。この直線管部 2 a の長さは、連結管部 2 b の長さよりも長く設定され、直線管部 2 a の長さを  $L_a$ 、連結管部 2 b の長さを  $L_b$  とした場合、

【0039】

$1 : 0.01 \leq L_a : L_b < 1 : 1$

の範囲に設定されるが、好ましくは可能な限り直線管部 2 a を長くする方が良く、

【0040】

$1 : 0.01 \leq L_a : L_b \leq 1 : 0.5$

の範囲に設定するのが好ましい。

【0041】

一方、この直線管部 2 a を連結する連結管部 2 b は、その両端に角部 2 0 b を設けて構成されるもので、この角部 2 0 b によって直線管部 2 a から伝搬してきた音波を連結管部 2 b へ反射させるようにしている。この角部 2 0 b の構成については、効率良く音波を連結管部 2 b へ反射させるために、図 2 に示すような構造が用いられる。図 2 は、直線管部 2 a の上端部分における角部 2 0 b の拡大図を示したものである。なお、この角部 2 0 b は、他の角部 2 0 b においても同様の構成が用いられるため他の部分における角部 2 0 b の構成については説明を省略する。図 2 において、角部 2 0 b は、直線の管部 2 a の内径とほぼ等しい内径を有し、かつ、ループ管 2 の内側コーナー部分を中心として管の内径とほぼ等しい直径を有するように構成される。これにより直線管部 2 a から移送されてきた音エネルギーは、角部 2 0 b において全て反射され、直線管部 2 a に戻ることなく連結管部 2 b 側へ移送されることになる。また、このように角部 2 0 b の内径を直線管部 2 a とほぼ等しく構成することによって、直線管部 2 a と角部 2 0 b の内壁を滑らかにすることができ、これにより音エネルギーの損失を防止して効率よく音エネルギーを移送できるようになる。なお、この角部 2 0 b の形状については、円弧形状のものに限らず、図 3 に示されるような直線状のものを用いることもできる。図 3 は、直線管部 2 a における上端部分の角部 2 0 0 b の拡大図を示したものである。図 3 において、角部 2 0 0 b は、その外側コーナー部分を直線管部 2 a に対して約 45 度となるように直線状に設けられる。そして、この直線状のコーナー部分により直線管部 2 a を伝搬する音波を全て連結管部 2 b 側へ反射させるようにしている。

【0042】

これらの直線管部 2 a や連結管部 2 b は、金属製のパイプによって構成されるが、材質については金属などに限らず、透明なガラス、もしくは樹脂などによって構成することもできる。透明なガラスや樹脂などの材料で構成した場合は、実験等における第一のスタック 3 a や第二のスタック 3 b の位置の確認や管内の状況を容易に観察することができる。

【0043】

そして、このように構成されたループ管 2 の内部には、第一高温側熱交換器 4 と第一低温側熱交換器 5 とに挟まれた第一のスタック 3 a 及び、第二高温側熱交換器 6 と第二低温側熱交換器 7 とに挟まれた第二のスタック 3 b が設けられる。

【0044】

この第一のスタック 3 a は、ループ管 2 の内壁に接するような円柱状に構成され、セラミクス、焼結金属、金網、金属製不織布などのように熱容量の大きい材質であって、ループ管の軸方向に貫通する多孔を有して構成される。なお、この第一のスタック 3 a は、図 4 や図 5 に示すように、中心から順次外側へ向けて内径を大きくした導通路 3 0 を多数有するスタック 3 c や、中心から順次外側へ向けて内径を小さくした導通路 3 0 を有するスタック 3 d を用いることができる。また、図 6 や図 7 に示すように、例えば、微小の球状セラミクスなどを多数敷き詰めて蛇行する導通路 3 0（太線で示される導通路 3 0）を有するスタック 3 e や、ループ管 2 の内周面に近い側の導通路 3 0 の流路長を短くしたスタ

ック 3 f などを用いても良い。

#### 【 0 0 4 5 】

また、第一高温側熱交換器 4 及び第一低温側熱交換器 5 は、共に薄い金属で構成され、その内側に定在波及び進行波を導通させるための貫通孔を設けて構成される。そして、これらの熱交換器のうち、第一高温側熱交換器 4 は外部から供給される電力、若しくは、廃熱や未利用エネルギーなどによって加熱されるように構成される。一方、第一低温側熱交換器 5 はその周囲に水を循環させて相対的に第一高温側熱交換器 4 よりも低い温度となるように設定される。

#### 【 0 0 4 6 】

そして、このように第一高温側熱交換器 4 及び第一低温側熱交換器 5 によって挟まれた第一のスタック 3 a は、第一高温側熱交換器 4 を上側に設けた状態で直線管部 2 a の中央よりも下方側に設けられる。このように第一のスタック 3 a を直線管部 2 a の中央より下方に設けるようにするのは、第一高温側熱交換器 4 を加熱する際に生じる上昇気流を利用して迅速に音波を発生させられるようにするためであり、また、第一高温側熱交換器 4 を上側に設けるのは、第一高温側熱交換器 4 を加熱する際に発生する暖かい作動流体を第一のスタック 3 a 内に入り込ませないようにして、第一低温側熱交換器 5 との間に大きな温度勾配を形成させられるようにするためである。

#### 【 0 0 4 7 】

ここで第一のスタック 3 a で自励による音波が発生するための条件としては、この第一のスタック 3 a 内に作動流体が流れる際の平行通路の流路半径を  $r$ 、作動流体の角周波数を  $\omega$ 、温度拡散係数を  $\alpha$ 、温度緩和時間を  $\tau$  ( $= r^2 / 2\alpha$ ) とした場合、 $\omega \tau$  が 0.2 ~ 2.0 の範囲内である場合に最も効率良く自励による音波を発生させることができる。このため、これらの関係を満たすように  $r$ 、 $\omega$ 、 $\tau$  を設定する。また、図 2 における直線管部 2 a の一端と連結管部 2 b の一端とを連結したときのそれぞれの中心軸の交点を回路の始点 X とし、回路全長を 1.00 とした場合、第一のスタック 3 a の中心を始点 X から反時計回りに回路全長の 0.28 ± 0.05 となる位置に設定すれば、より迅速かつ効率良く自励による音波を発生させることができる。

#### 【 0 0 4 8 】

一方、第二のスタック 3 b は、第一のスタック 3 a と同様に、ループ管 2 の内壁に接するような円柱状に構成され、セラミクス、焼結金属、金網、金属製不織布などのように熱容量の大きい材質であって、ループ管の軸方向に貫通する多孔を有して構成される。この第二のスタック 3 b は、ループ管 2 に沿った作動流体の圧力変動が、第一のスタック 3 a の近傍に第一のピークが存在して、更に回路全長の約 1/2 進んだ位置に第二のピークが存在する場合に、そのスタック 3 b の中心が第二のピークを過ぎた場所に位置するように設けられる。なお、この第二のスタック 3 b については、第一のスタック 3 a と同様に、図 4 や図 5 に示すように、中心から順次外側へ向けて内径を大きくした導通路 3 0 を多数有するスタック 3 c や、中心から順次外側へ向けて内径を小さくした導通路 3 0 を有するスタック 3 d を用いることができる。また、図 6 や図 7 に示すように、例えば、微小の球状セラミクスなどを多数敷き詰めて蛇行する導通路 3 0 (太線で示される導通路 3 0) を有するスタック 3 e や、ループ管 2 の内周面に近い側の導通路 3 0 の流路長を短くしたスタック 3 f などを用いても良い。

#### 【 0 0 4 9 】

また、この第二のスタック 3 b 側に設けられる第二高温側熱交換器 6 及び第二低温側熱交換器 7 も、同様に、ともに薄い金属で構成され、その内側に定在波及び進行波を導通させるための貫通孔を設けて構成される。そして、第二高温側熱交換器 6 の周囲に水を循環させるようにするとともに、第二低温側熱交換器 7 に冷却の対象物を接続する。この冷却の対象物としては、外気や、発熱を伴う家電製品、パーソナルコンピュータの CPU などが考えられるが、これ以外の対象物を冷却するようにしても良い。

#### 【 0 0 5 0 】

このように構成されたループ管 2 の内部には、ヘリウム、アルゴンなどのような不活性



ガスが封入される。なお、このような不活性ガスに限らず、窒素や空気などのような作動流体を封入しても良い。これらの作動流体は、 $0.1\text{ MPa} \sim 1.0\text{ MPa}$ に設定される。

#### 【0051】

このような作動流体を封入するに際してプラントル数が小さく、また、比重も小さいヘリウムなどを使用すれば、音波の発生までの時間を短縮化することができる。しかし、このような作動流体を用いると、音速が早くなってしまって、スタック内壁との間でうまく熱交換を行うことができない。また、逆に、プラントル数が大きく、また、比重も大きいアルゴンなどを使用すると、今度は粘性が高くなって音波を迅速に発生させることができない。このため、好ましくは、ヘリウムとアルゴンの混合ガスを用いるようにする。そして、このような混合ガスを封入する場合、次のようにして行う。

#### 【0052】

まず、始めにプラントル数が小さく、また、比重も小さいヘリウムをループ管2内に封入しておき、迅速に音波を発生させる。そして、発生した音波の音速を低下させるべく、次にアルゴンなどのようなプラントル数が大きく、また、比重も大きいガスを注入する。このアルゴンの混入に際しては、図8に示すように、上側に設けられた連結管部2bの中央部分に気体注入装置9を設け、そこから注入すると左右の直線管部2aに均一にアルゴンを注入し、これにより、相対的に比重の大きいアルゴンを下方に向かって流入させて内部のガスを均一化される。なお、このように先にヘリウムを封入して後からアルゴンを注入する場合に限らず、これとは逆に、先にアルゴンを封入しておき、後からヘリウムを注入するようにしても良い。この場合、下側の連結管部2bの中央部分に気体注入装置9を設け、そこからヘリウムを注入すると、相対的に比重の小さいヘリウムが上昇する際にガスを均一化させるようになる。これらの混合ガスの圧力は、 $0.01\text{ MPa} \sim 5\text{ MPa}$ に設定され、装置全体を小型化する場合は、 $0.01\text{ MPa}$ などのように比較的低い圧力に設定する。これにより小型化されたループ管2内での粘性の影響を少なくできる。

#### 【0053】

次に、このように構成された熱音響装置1の動作状態について説明する。

#### 【0054】

まず、ループ管2にヘリウムを封入しておき、この状態で第一のスタック3aの第一低温側熱交換器5及び第二のスタック3bの第二高温側熱交換器6の周囲に水を循環させる。この状態で第一のスタック3aにおける第一高温側熱交換器4に熱を加えると、第一高温側熱交換器4と第一低温側熱交換器5との間の温度差によって第一のスタック3a内に温度勾配が発生し、作動流体が微小に揺らぎ始める。そして、次に、この作動流体が大きく振動し始めてループ管2内を周回する。この際、第一のスタック3aが存在する直線管部2aが比較的長く設定されているので、第一のスタック3a内で発生した音波の波面が安定し、短時間のうちにループ管2内に定在波及び進行波を発生させることができる。この定在波及び進行波による音エネルギーは、エネルギー保存の法則に基づき、第一のスタック3a内での熱エネルギーの移送方向（第一高温側熱交換器4から第一低温側熱交換器5の方向）と逆方向、すなわち、第一低温側熱交換器5から第一高温側熱交換器4の方向に発生する。この音エネルギーは、ループ管2の角部20bなどにおいて効率良く反射された後、第二のスタック3b側へ移送され、第二のスタック3b側では、定在波及び進行波に基づく作動流体の圧力変化及び体積変化によって作動流体を膨張・収縮させる。そして、その際に生じた熱エネルギーを音エネルギーの移送方向と逆方向である第二低温側熱交換器7から第二高温側熱交換器6側へ移送する。このようにして、第二低温側熱交換器7を冷却し、目的の対象物を冷却するようにする。

#### 【0055】

なお、上述のような熱音響装置1では、第一のスタック3a内に設けられた温度勾配によって自励による音波を発生させるようにしているが、実際には、このような自励による音波が発生するまでの間には比較的長い時間を要することとなる。一方、定在波及び進行波の発生時間を短縮するためには、ループ管2の径を変えて定在波及び進行波の周波数を

低くすることも可能であるが、このようにすると今度は、十分な出力を得ることができない。このような場合、図 8 に示すように、音波発生装置 8 を設けることもできる。

#### 【 0 0 5 6 】

この音波発生装置 8 は、スピーカーや圧電素子、その他、外部から作動流体を強制振動させるような装置で構成されるもので、ループ管 2 の外周面に沿って設けられ、若しくは、ループ管 2 の内部に設けられる。この音波発生装置 8 は、発生する定在波及び進行波の  $1/2$  波長、 $1/4$  波長の間隔を設けて取り付けるのが好ましく、また、定在波及び進行波の進行方向に対応してループ管 2 の軸方向に作動流体を強制振動させるように設けるのが好ましい。このように音波発生装置 8 を設けると、定在波及び進行波の発生時間を短縮することができ、迅速に第二低温側熱交換器 7 を冷却することができるようになる。

#### 【 0 0 5 7 】

また、このような熱音響装置 1 だけでは十分な冷却効果を得ることができない場合、図 9 に示すように、熱音響装置 1 を複数連結させた熱音響システム 100 を用いるようにするようにしても良い。図 9 において、1 a、1 b … 1 n は上述のように構成された熱音響装置 1 を示し、これらの第一の熱音響装置 1 a、第二の熱音響装置 1 b … 第 n の熱音響装置 1 n は隣接して直列に設けられる。これらの熱音響装置 1 a … における第一高温側熱交換器 4 は、全てヒーターなどで加熱され、一方、それぞれにおける熱音響装置 1 a … の第二低温側熱交換器 7 は、これに隣接する熱音響装置 1 b … の第一低温側熱交換器 5 に連結される。これにより、第一の熱音響装置 1 a における第一のスタック 3 a の温度勾配よりも第二の熱音響装置 1 における温度勾配の方を大きくすることができ、これにより、順次下流側に向けて熱音響装置 1 n の温度勾配が大きいくすることができて、末端の熱音響装置 1 n からより低い熱を出力することができるようになる。なお、このように熱音響装置 1 a … を連結する場合、各熱音響装置 1 a … で音波を自励させようとする、末端の熱音響装置 1 n で定在波及び進行波が発生するまでの間に非常に長い時間を要することになる。このため、特にループ管 2 の外周面若しくは内部に音波発生装置 8 を設けて各熱音響装置 1 a … での定在波及び進行波の発生までの時間を短縮化するように構成すると良い。

#### 【 0 0 5 8 】

また、上記実施の形態では、第一のスタック 3 a 側を加熱して第二のスタック 3 b 側を冷却する熱音響装置 1 を例に挙げて説明したが、これとは逆に、第一のスタック 3 a 側を冷却して第二のスタック 3 b 側を加熱するようにしても良い。この熱音響装置 1 の例を図 8 に示す。

#### 【 0 0 5 9 】

図 10 において、図 1 から図 8 までと同じ符号を示すものは上記説明したものと同一構造を有するものを示す。この図 10 においては、第一のスタック 3 a を直線管部 2 a の中央よりも上方に設けるとともに、第二のスタック 3 b をこれに対向する直線管部 2 a の適所に設けるようにしている。この第一のスタック 3 a 及び第二のスタック 3 b の設置位置としては、上記実施の形態における設置条件と同じ条件となる位置に設けると良い。そして、第一低温側熱交換器 5 にマイナス数十度もしくはこれよりも低い冷熱を入力するとともに、第一高温側熱交換器 4 および第二低温側熱交換器 7 に不凍性の液体を循環させる。すると熱音響効果の原理により、第一のスタック 3 a に形成された温度勾配によって自励の音波が発生し、比較的長く設定された直線管部 2 a で波面を安定させ、また、冷熱の下降気流を利用して迅速に定在波及び進行波を発生させる。この定在波及び進行波の音エネルギーの進行方向は、第一のスタック 3 a における熱エネルギーの移送方向（第一高温側熱交換器 4 から第一低温側熱交換器 5 の方向）と逆方向に向かうように発生する。この定在波及び進行波による音エネルギーは、ループ管 2 の角部 20 b などにおいて効率良く反射された後、第二のスタック 3 b 側へ伝搬され、第二のスタック 3 b 側では、定在波及び進行波に基づく作動流体の圧力変化及び体積変化によって作動流体が膨張・収縮を繰り返す、その際に生じた熱エネルギーを音エネルギーの移送方向と逆方向である第二低温側熱交換器 7 から第二高温側熱交換器 6 側へ移送する。このようにして、第二高温側熱交換器 6 を加熱する。



#### 【0060】

なお、この実施の形態においても、定在波及び進行波の発生を促進するためにループ管2の外周面もしくは内部に音波発生装置8を設けるようにしても良く、また、このような熱音響装置1を図9に示すように連結して末端側の熱音響装置1からより高い熱を出力するようにしても良い。

#### 【0061】

このように上記実施の形態によれば、鉛直方向に沿って設けられた一对の同じ長さの直線管部2aと、この直線管部2aを連結する連結管部2bを設け、この直線管部2aを連結管部2bよりも長く設定した状態において、その直線管部2aに第一高温側熱交換器4及び第一低温側熱交換器5に挟まれた第一のスタック3aを設けるようにしたので、第一のスタック3aで発生した自励の音波の波面を長い直線管部2aで安定させることができる。また、鉛直方向に沿う直線管部2aに第一のスタック3aを設けるようにしたので、その第一のスタック3a側で発生した上昇気流や下降気流を利用して音波の発生までの時間を短縮化することができるようになり、更に、音波が発生した後においても熱交換の効率を良くすることができるようになる。

#### 【0062】

そして、このようなループ管2を構成するに際して、直線管部と連結管部の長さをそれぞれ $L_a$ 、 $L_b$ とした場合、「 $1:0.01 \leq L_a:L_b < 1:1$ 」となる範囲にそれぞれの長さを設定し、より好ましくは、「 $L_a:L_b \leq 1:0.5$ 」とように各長さを設定したので、発生した音波の波面をより迅速に安定化させることができる。

#### 【0063】

また、このような装置において、第一のスタック3a側を加熱し、第二のスタック3b側を冷却する場合、第一のスタック3aを直線管部2aの中心よりも下方に設けるようにしたので、第一高温側熱交換器4に加えられる熱による上昇気流の発生空間を確保することができ、この上昇気流を利用することによって迅速に定在波及び進行波を発生させることができるようになる。

#### 【0064】

更に、これとは逆に、第一のスタック3a側を冷却し、第二のスタック3b側を加熱する場合、第一のスタック3aを直線管部2aの中心よりも上方に設けるようにしたので、第一低温側熱交換器5に加えられる冷熱による下降気流の発生空間を確保することができ、この下降気流を利用することによって迅速に定在波及び進行波を発生させることができるようになる。

#### 【0065】

加えて、直線管部2aの一端と連結管部2bの一端とを連結したときのそれぞれの中心軸の交点を回路の始点とし、回路全長を1.00とするとき、第一のスタック3aの中心が回路全長の $0.28 \pm 0.05$ の位置となるように設定したので、より迅速に自励による音波を発生させることができる。

#### 【0066】

また、回路全長を1.00とするとき、回路に沿った作動流体の圧力変動が、第一のスタックの近傍に第一のピークがあり、更に回路全長の約 $1/2$ 進んだ位置に第二のピークが存在する場合に、第二のスタック3bの中心が第二のピークを過ぎた位置となるように第二のスタック3bを設けるようにしたので、第二のスタック3bでの冷却効率や加熱効率を高めることができるようになる。

#### 【0067】

加えて、ループ管2の外周部もしくは内部に、定在波及び進行波を発生させるための音波発生装置8を設けるようにしたので、自励による音波だけでなく音波発生装置8からの強制振動によって、より迅速に定在波及び進行波を発生させることができるようになる。

#### 【0068】

また、第一のスタック3aや第二のスタック3bとして、図4に示すように、順次外側へ向かって内径を大きくした導通路30を有するスタック3cを用いるようにもしたので

、ループ管 2 内部における境界層近傍での導通路 3 0 の内径を大きくすることができ、この部分でのエネルギー交換を効率よく行うことができるようになる。

【 0 0 6 9 】

また、第一のスタック 3 a や第二のスタック 3 b として、図 5 に示すように、順次外側へ向かって内径を小さくした導通路を有するスタック 3 d を用いるようにしたので、ループ管 2 内部における中心部分での導通路 3 0 の内径を大きくすることができ、この部分でのエネルギー交換を効率よくすることができるようになる。

【 0 0 7 0 】

また、第一のスタック 3 a や第二のスタック 3 b として、図 6 に示すように、蛇行した導通路 3 0 を有するスタック 3 e を用いるようにしたので、作動流体とスタック 3 d との表面積を大きく確保することができるため、作動流体との熱交換を助長させてより高い熱の出力を行うことができるようになる。

【 0 0 7 1 】

また、第一のスタック 3 a や第二のスタック 3 b として、図 7 に示すように、順次外側へ向かって短くした導通路を有するスタック 3 f を用いるようにしたので、ループ管 2 の境界層に近い部分の導通路の流路長を短くすることができ、速度勾配を全体的に均一にすることによって、熱交換器 4、5、6、7 を全体的に均一に加熱若しくは冷却することができるようになる。

【 0 0 7 2 】

また、第一のスタック 3 a や第二のスタック 3 b の素材として、セラミクス、焼結金属、金網、金属製不織布の少なくとも 1 種からなるものを用い、その  $\omega\tau$  ( $\omega$  : 作動流体の角周波数、 $\tau$  : 温度緩和時間) として 0.2 ~ 2.0 の範囲となるように設定したので、より迅速かつ効率良く自励による音波を発生させることができるようになる。

【 0 0 7 3 】

また、図 9 に示すように、このような熱音響装置 1 を複数設け、一の熱音響装置 1 における第二低温側熱交換器 7 とこれ隣接する熱音響装置 1 の第一低温側熱交換器 5、もしくは、一の熱音響装置 1 における第二高温側熱交換器 6 とこれに隣接する熱音響装置 1 の第一高温側熱交換器 4 とを連結するようにしたので、順次隣接する熱音響装置 1 ごとに第一のスタック 3 a 内の温度勾配を大きくすることができ、末端側の熱音響装置 1 でより高い熱や冷熱を出力することができるようになる。

【 0 0 7 4 】

なお、本発明は上記実施の形態に限定されることなく、種々の形態で実施することができる。

【 0 0 7 5 】

例えば、上記実施の形態においては、左右対称形となるループ管 2 を設けるようにしているが、これに限らず、不規則に蛇行するループ管を用いるようにしても良い。この場合、最も長い直線管部に音波の発生源となる第一のスタック 3 a を設けるようにすると良い。

【 0 0 7 6 】

また、上記実施の形態においては、鉛直方向に沿った直線管部 2 a を設けるようにしているが、これに限らず、若干地面に対して傾斜するような直線管部を設けるようにしても良い。

【 0 0 7 7 】

また、上記第一のスタック 3 a や第二のスタック 3 b の位置については、上記設定された条件に限定されることなく、種々の実験などにおいて適切な場所に設置するようにしても良い。

【図面の簡単な説明】

【 0 0 7 8 】

【図 1】 本発明の一実施の形態を示す熱音響装置の概略図

【図 2】 同形態におけるループ管の角部の拡大図

【図 3】 他の実施の形態におけるループ管の角部の形状を示す図

【図 4】 他の実施の形態におけるスタックの形状を示す図

【図 5】 他の実施の形態におけるスタックの形状を示す図

【図 6】 他の実施の形態におけるスタックの形状を示す図

【図 7】 他の実施の形態におけるスタックの形状を示す図

【図 8】 音波発生装置を設けた熱音響装置の概略図

【図 9】 音響暖房装置を連結させた音響暖房システムの概略図

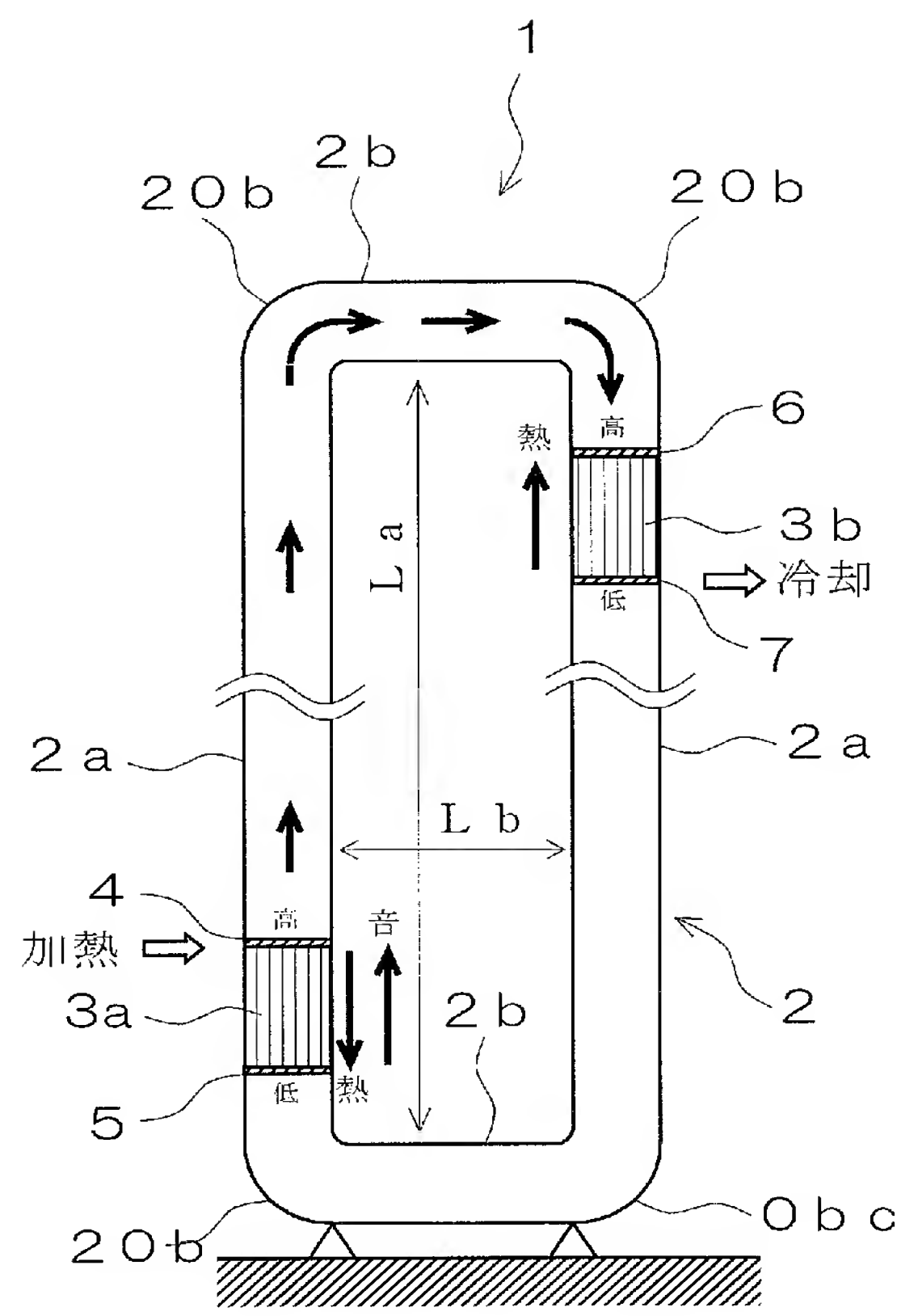
【図 10】 他の実施の形態における熱音響装置の概略図

【符号の説明】

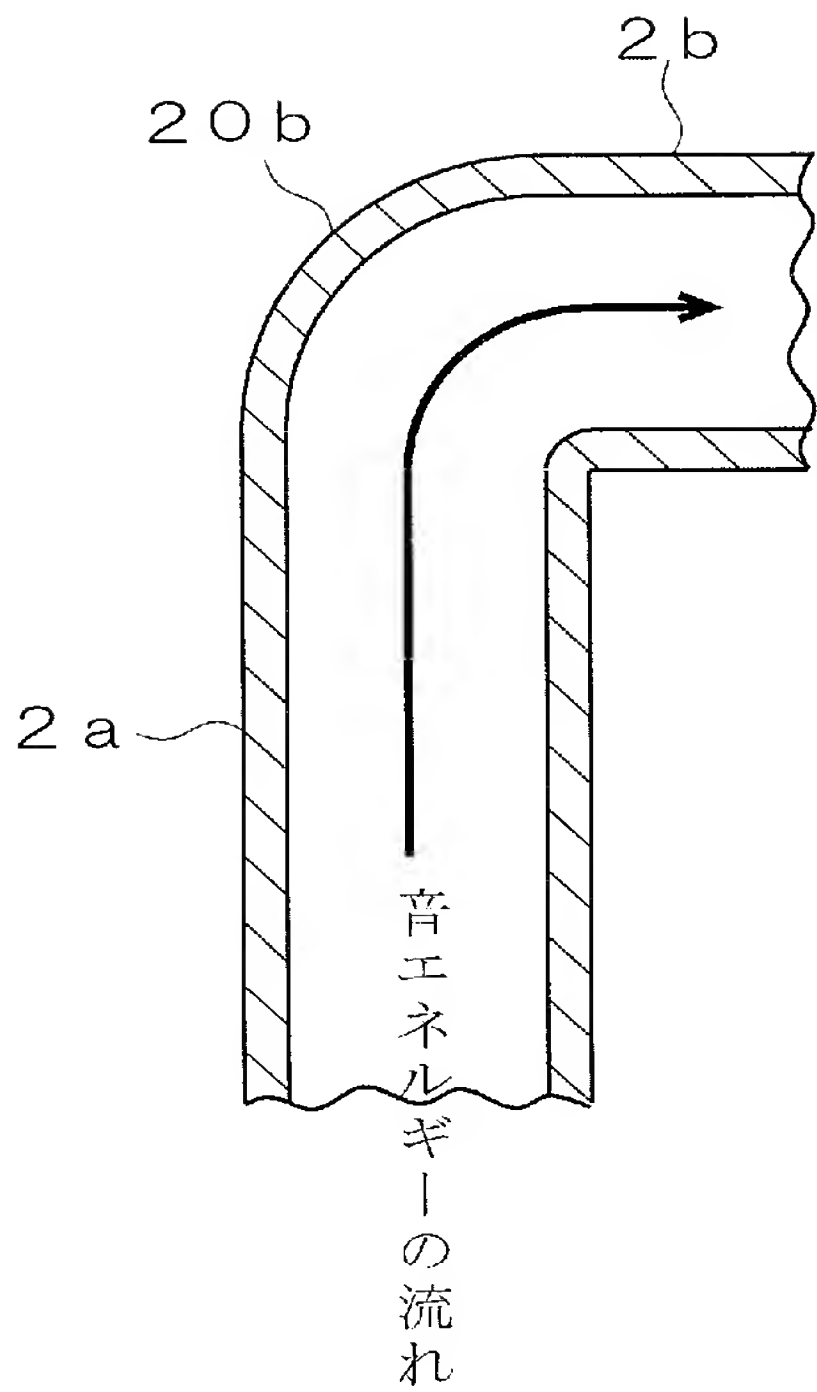
【0079】

- 1 . . . 熱音響装置
- 2 . . . ループ管
- 2 a . . . 直線管部
- 2 b . . . 連結管部
- 2 0 b . . . 角部
- 3 a . . . 第一のスタック
- 3 b . . . 第二のスタック
- 3 c . . . スタック
- 3 d . . . スタック
- 3 e . . . スタック
- 3 f . . . スタック
- 3 0 . . . 導通路
- 4 . . . 第一高温側熱交換器
- 5 . . . 第一低温側熱交換器
- 6 . . . 第二高温側熱交換器
- 7 . . . 第二低温側熱交換器
- 8 . . . 音波発生装置
- 9 . . . 気体注入装置
- 1 0 0 . . . 熱音響システム

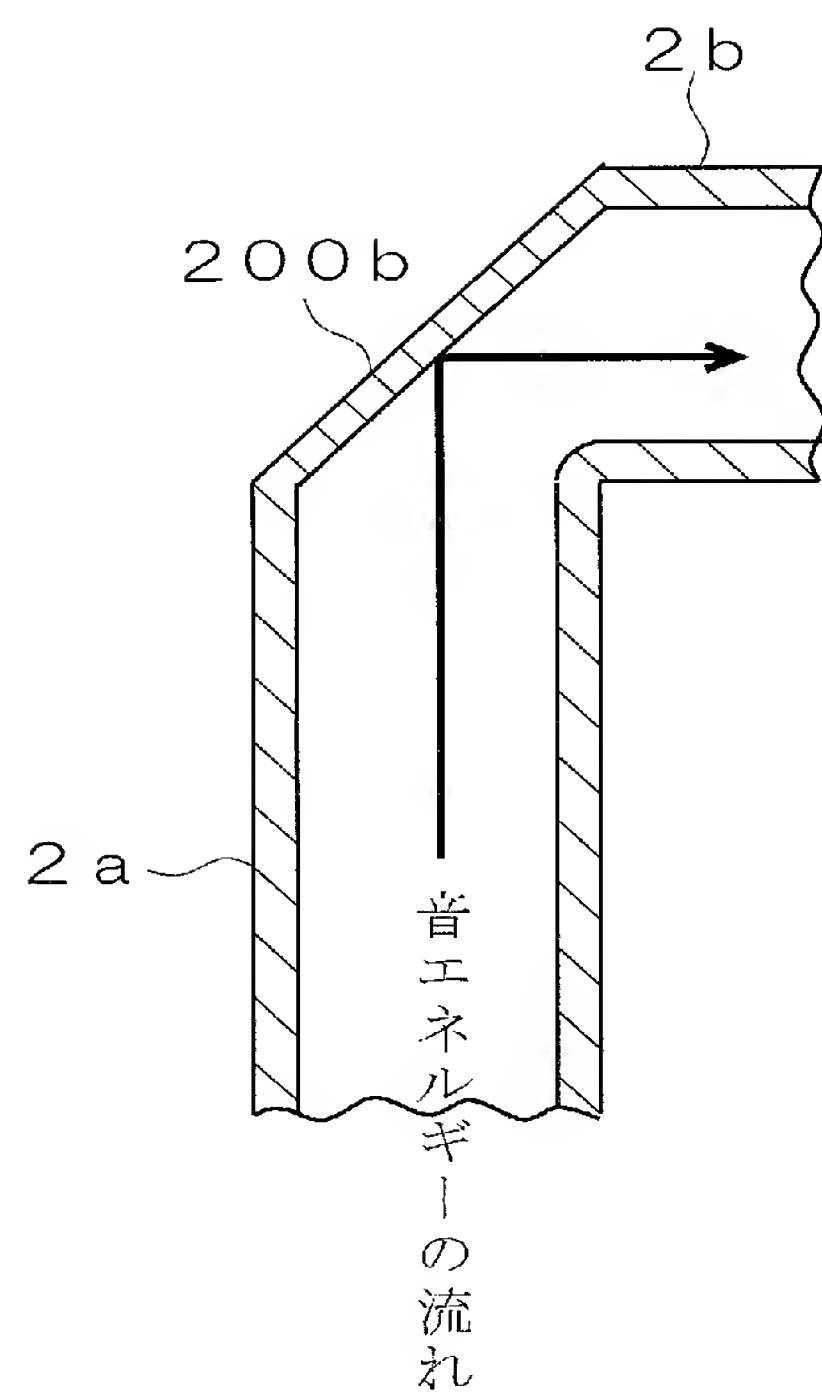
【書類名】 図面  
【図 1】

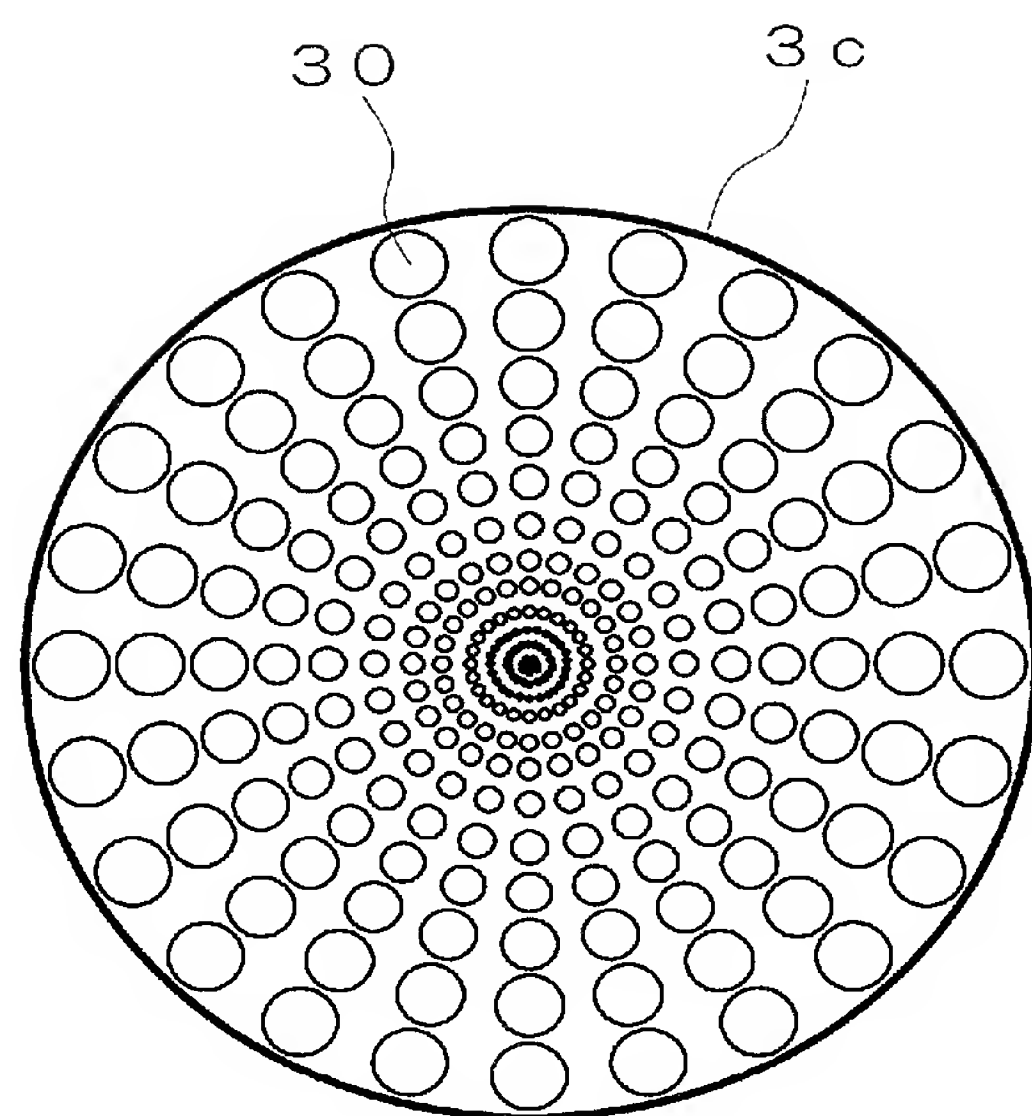


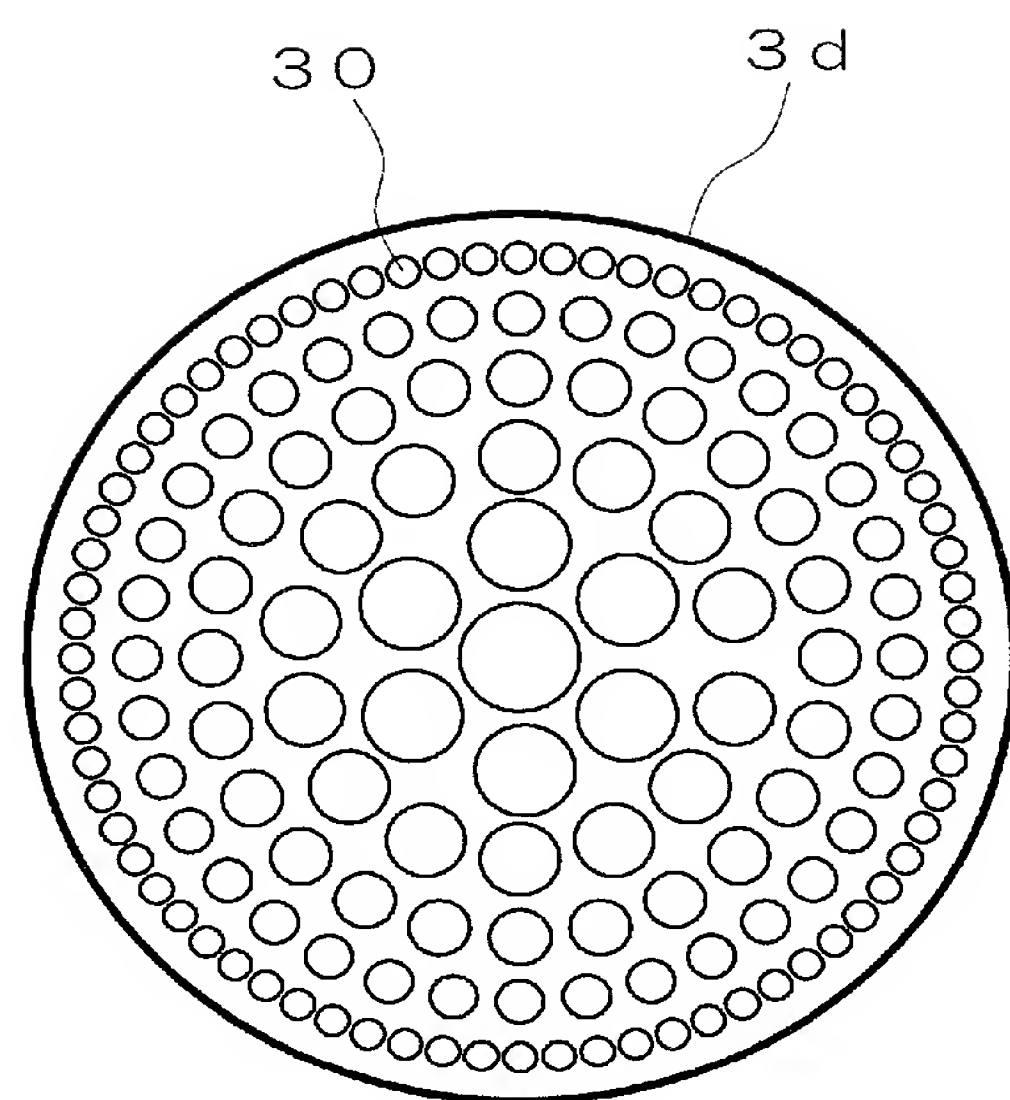
【図 2】

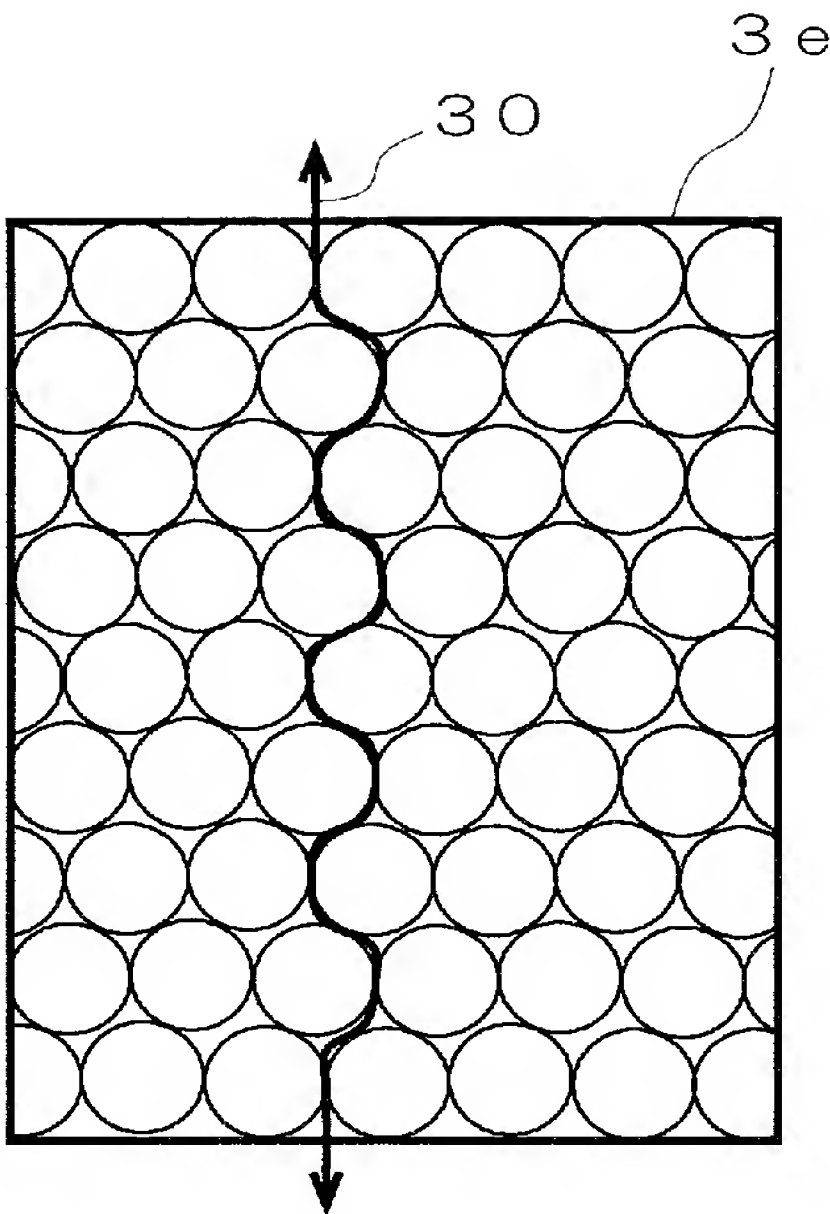




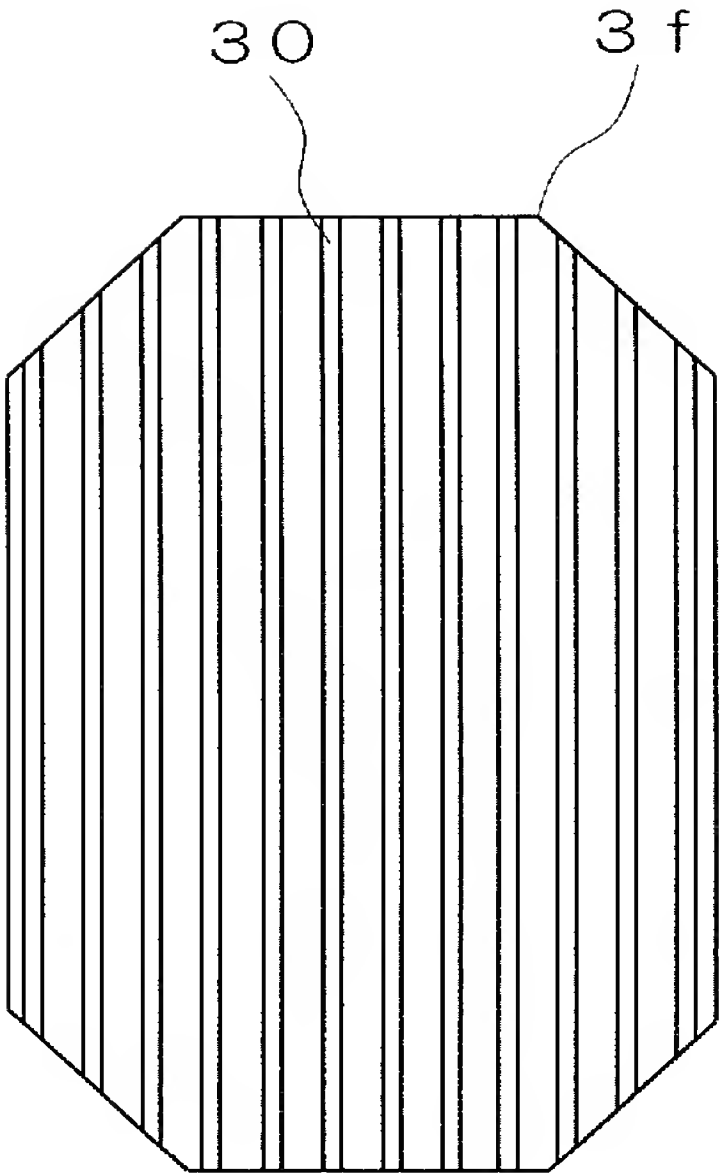






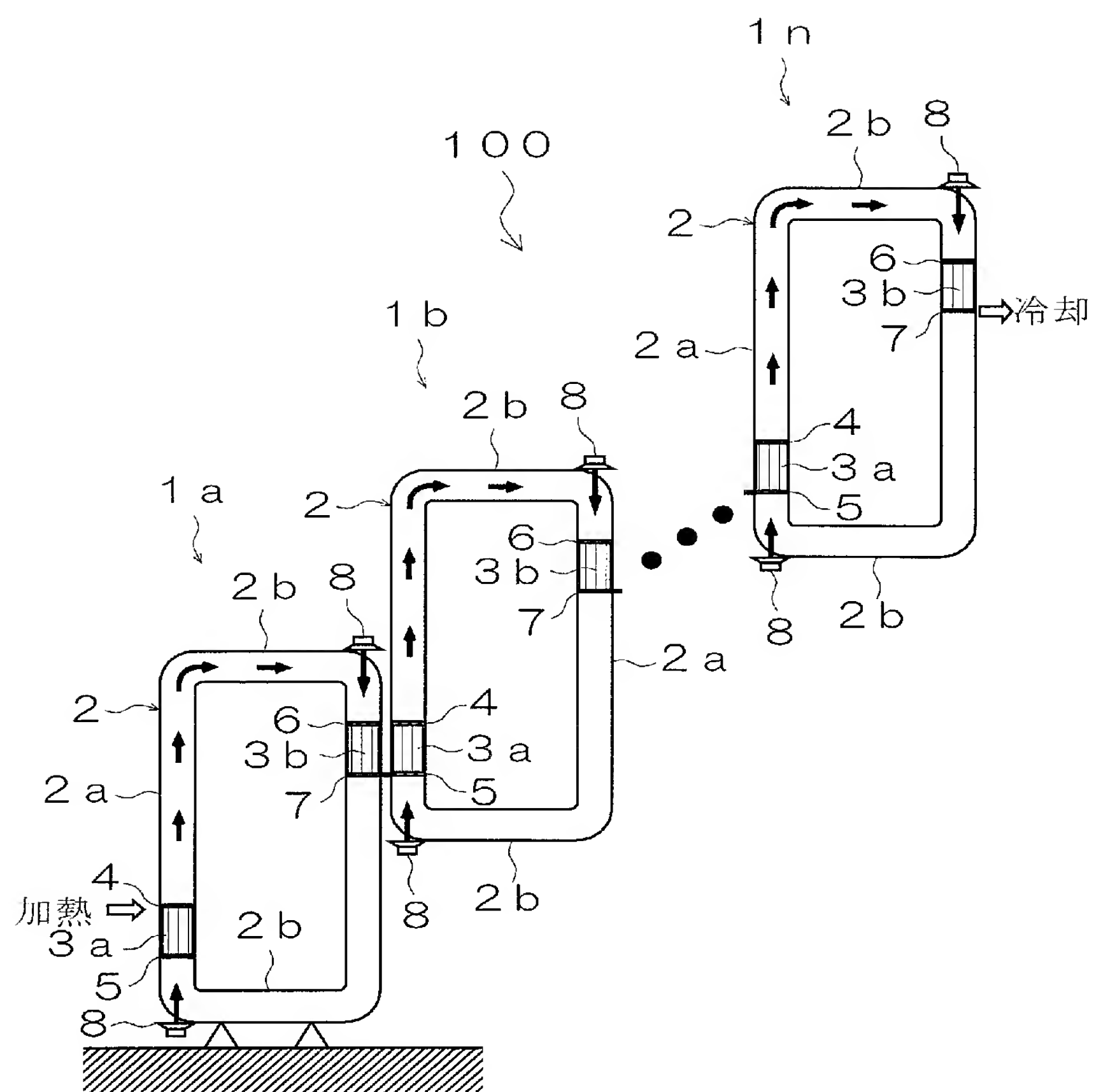


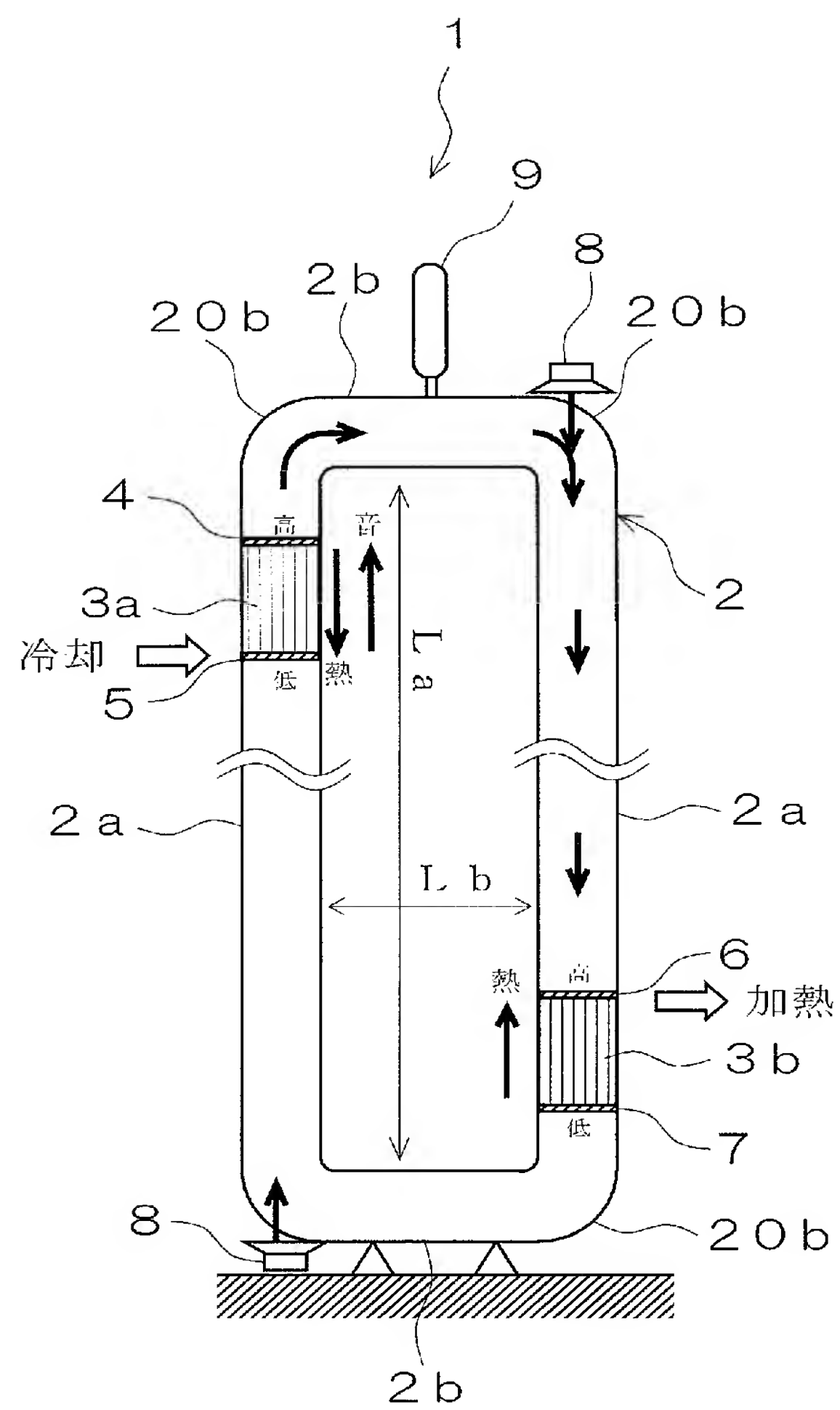
【 図 7 】











【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 ループ管を用いた熱音響装置において、迅速に定在波及び進行波を発生させて、迅速かつ効率良く熱交換を行いうるような熱音響装置を提供することを目的とする。

【解決手段】 ループ管 2 の内部に、第一高温側熱交換器 4 と第一低温側熱交換器 5 とに挟まれた第一のスタック 3 a と、第二高温側熱交換器 6 と第二低温側熱交換器 7 とに挟まれた第二のスタック 3 b とを設け、第一高温側熱交換器 4 を加熱することによって自励による音波を発生させ、この定在波及び進行波によって第二低温側熱交換器 7 を冷却する熱音響装置であって、ループ管を、鉛直方向に沿う複数の直線管部 2 a と、この直線管部 2 a よりも短く構成される連結管部 2 b とを設けて構成し、第一のスタック 3 a を、最も長い直線管部 2 a に設けるようにする。

【選択図】 図 1

出願人履歴

5 0 3 0 2 7 9 3 1

20030404

住所変更

5 0 3 0 6 1 4 7 4

京都府京都市上京区今出川通烏丸東入玄武町 6 0 1

学校法人同志社